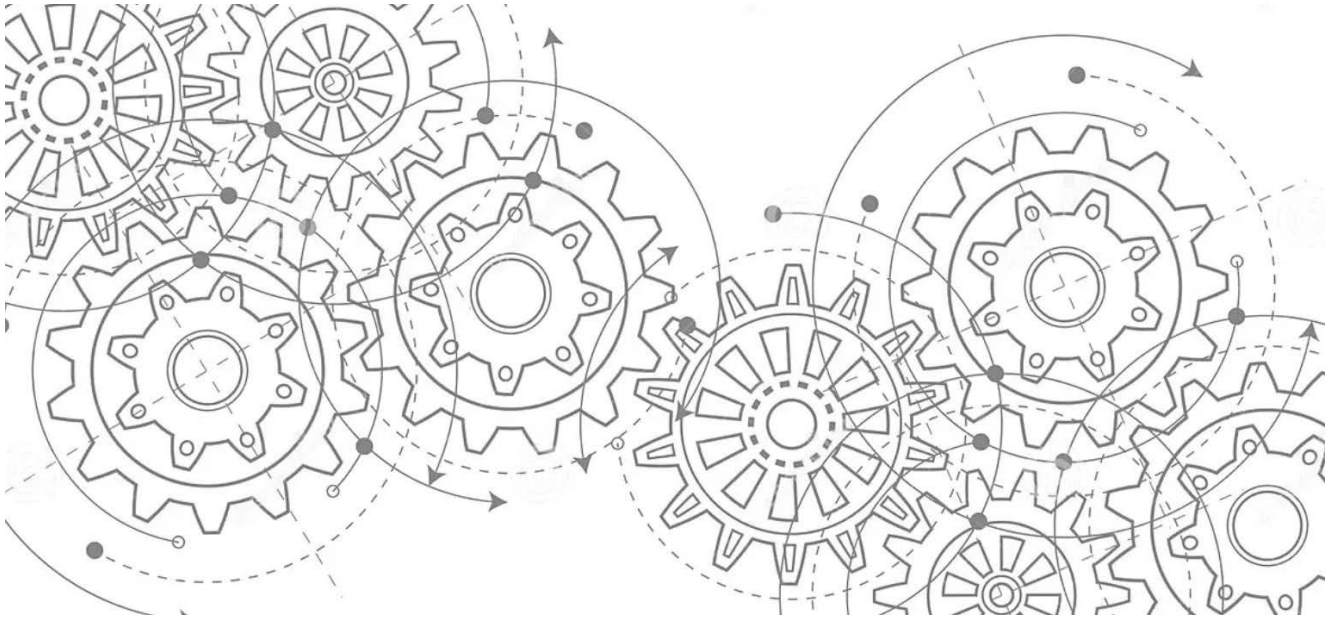
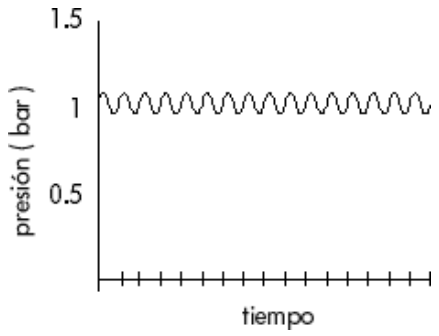
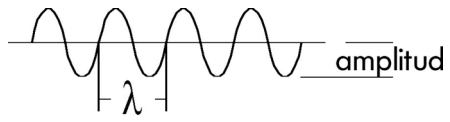
Electroacústica Básica







¿Qué es el sonido?

El sonido es una variación de la presión de aire con el tiempo, que se propaga en un medio elástico como el aire. Comparado a la presión de aire estática de 100.000 PASCAL (1 Bar) la parte que se altera de la presión (p.e: la presión sonora) es muy pequeña. El límite de la audiencia humana se alcanza a sólo 100Pa (134 dBs SPL) .

Longitud de onda y Frecuencia

La frecuencia de una señal describe el número de oscilaciones por segundo (unidad: Hertzio - 1/s). Mientras que la onda propaga con velocidad constante, su longitud de onda se puede definir como λλ – c/f donde λλ – longitud de onda, c – velocidad del sonido (343 m/s) y f – frecuencia.

Longitud de onda es la distancia que cubre una onda durante una oscilación completa. El rango de frecuencias audibles cubre unas 10 Octavas, desde 16Hz hasta 16kHz.Su correspondiente rango de longitudes de onda cubriría desde 20mts a 2 cm, (la luz visible cubre únicamente una octava , de 400 a 800 nm)

Propagación del sonido

La velocidad c de propagación de una onda sonora es de aproximadamente 343 m/s (cambia con la temperatura del aire). Esto significaría unos 1235 Km/h o 767 MPH .La onda necesitará por consiguiente, 3 mseg para desplazarse 1 mt. En un medio homogéneo el sonido se desplaza en línea recta; de todas formas los agentes atmosféricos pueden desviar la onda acústica.

Refracción por capas de temperatura

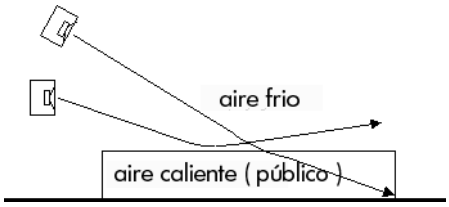
Del mismo modo que la luz, las ondas sonoras son reflectadas en la superficie que separa dos medios distintos. Esto es debido a la diferente velocidad del sonido en ambos medios. Este fenómeno ocurre , por ejemplo, entre capas de aire con distintas temperaturas.

Refracción por viento

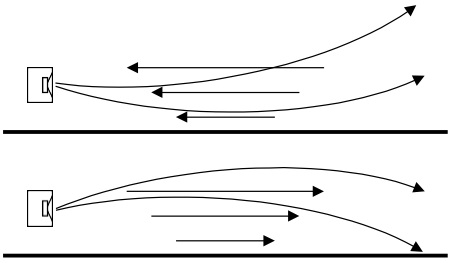
La velocidad del viento a nivel del suelo suele ser menor que a mayores alturas. Por este motivo, también la velocidad de propagación del sonido cambia según la altura respecto el suelo.
Esto da lugar a un efecto de refracción, que desvía el sonido que viaja contra el viento hacia arriba y limita así el alcance de la fuente sonora en esta dirección.
El mismo efecto ocurre cuando las ondas sonoras se desplazan hacia la misma dirección del viento. En este caso, se podrían sortean obstáculos entre la fuente sonora y el oyente.

Temp. ºC	C [m/seg.]	1/c [ms/m]
- 10	324	3.09
0	330	3.03
10	337	2.97
20	343	2.92
30	349	2.86
40	355	2.81

Velocidad del sonido respecto temperatura



Refracción por capas de temperatura



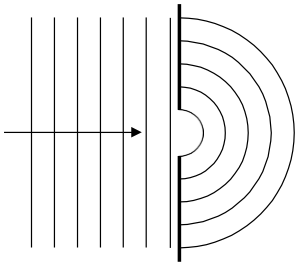
Refracción por variaciones en la velocidad del viento.

1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
0.35	1	2.5	7

Pérdida por propagación en el aire (dB por 100 m; aprox. en temperaturas > 1S°C y humedad > S0%}.

F [Hz]	λ
31	11.0 m
63	5.49 m
125	2.74 m
250	1.37 m
500	69 cm
1000	34 cm
2000	17 cm
4000	8.6 cm
8000	4.3 cm
16000	2.1 cm

Frecuéncia y longitud de onda



Difracción por un aguiero

Efecto Damping o de amortiguamiento

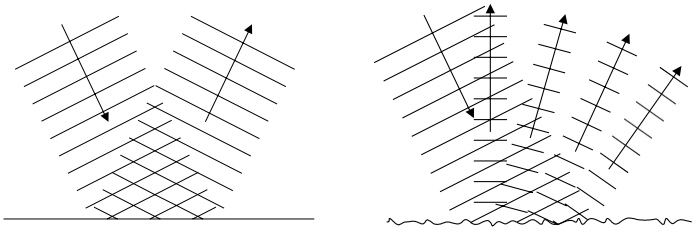
Incluso con propagación sin obstáculos, una onda sonora perderá energía. Esta pérdida es proporcional a la distancia cubierta y aumenta con la frecuencia. Por consiguiente, las fuentes sonoras lejanas sufren una pérdida a altas frecuencias añadida a la pérdida de nivel por distancia. En ambientes húmedos, este efecto se aumenta.

Reflexión, difracción y absorción

El tamaño de las ondas sonoras audibles es muy parecido a los objetos que nos rodean. Cuando una onda golpea una superficie dura, reacciona de distinta forma dependiendo de la relación entre la longitud de la onda y el tamaño del objeto golpeado.

Reflexión.

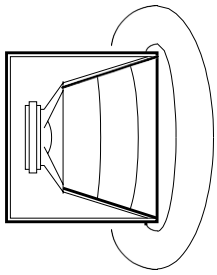
Si la longitud de onda es muy pequeña comparada al objeto, la onda acústica será reflejada. Una superficie plana reflejará la onda acústica como un espejo refleja la luz. Las superficies desiguales producirán una reflexión difusa.



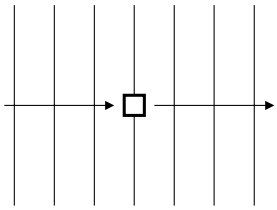
Difracción

Difracción describe el fenómeno por el que la dirección original de la onda acústica se desfigura por un objeto. La difracción ocurre cuando el objeto y la longitud de onda son aproximadamente del mismo tamaño.

Los objetos considerablemente más pequeños que la longitud de onda del sonido no tienen demasiado efecto en la propagación del mismo. La onda sonora no II nota II el objeto.



Difracción por una trompeta



Ningún efecto con obietos pequeños

Absorción

Si una onda sonora golpea un objeto suave, poroso o elástico, será absorbida en mayor o menor medida. El factor de absorción dependerá de la frecuencia y describe el porcentaje de energía sonora (no presión) que es absorvida por la superficie. El resto será reflejado. Aquí, otra vez el tamaño del objeto es importante: un objeto absorbente de pequeño tamaño no eliminará frecuencias graves

Superficie	12S Hz	2S0 Hz	S00 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Hormigón	1	1	1	1.5	2	2
Suelo de madera	15	11	10	7	6	7
Paneles de madera	30	25	20	17	15	10
Panel de 50 mm de gomaespuma	15	27	63	91	100	100
Panel de 50 de fibra de vídrio	26	60	95	100	100	100

Eiemplos de factor de absorción (%}

Relación	dB
0.1	- 20
1	0
10	+ 20
100	+ 40
2	+ 6
3	+ 10
5	+ 14

Relación de Presión Sonora y Voltaie.Valores expresados en valores logarítmicos dB.

Distancia	dB-Nivel respecto a 1 m
2 m	-6
3 m	- 10
5 m	- 14
10 m	- 20
20 m	- 26
30 m	- 30
50 m	- 34

Pérdida de nivel por distancia

Presión y nivel sonoro

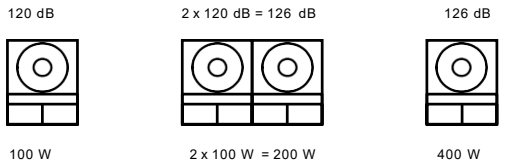
El nivel de sonido aumenta en escala logarítmica del mismo modo que las frecuencias, siendo las diferencias apreciables de frecuencia escaladas en octavas, y las diferencias apreciables en nivel sonoro en decibelios (dB).
Un decibelio por sí solo no es ninguna unidad real pero sí un elemento de referencia de nivel. Sólo con una referencia dada se convierte en una unidad. Así el dBu se utiliza para niveles de señal eléctrica con relación a 0.775 Volt y dB SPL se utiliza para niveles de presión sonora con relación a 0.00002 Pascal (umbral de la escucha, nominalmente 0 dB SPL).
La fórmula para convertir nivel sonoro en dB SPL es:

$$Nivel \quad [\,dB \;\; SPL\,] \;=\; 20 \cdot \log\left(\frac{presión\ sonora}{0.00002\,Pa}\right)$$

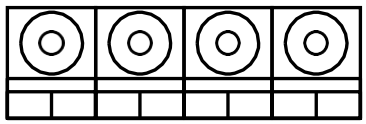
La presión sanora de un altavoz es proporcional a su voltaje de entrada.Esto significa que un aumento de nivel de entrada de 6 dB (doblar el voltaje de entrada o 4 veces la energía de entrada), provoca 6 dB más de presión sonora (dobla la presión sonora o 4 veces la energía acústica).

Pérdida de nivel por distancia

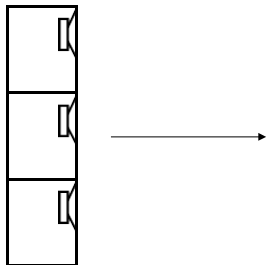
Al aumentar la distancia, la energía sonora radiada por un altavoz cubre una mayor superficie. Esto produce que la presión sonora sea inversamente proporcional a la distancia de la fuente. El cuadro adyacente muestra esta relación. A una distancia de 10 mts la presión sonora es 20 dBs menor que a 1 mt
En la tabla se muestran las relaciones lineales (metros) en la izquierda y logarítmicas (decibelios) en la derecha. Con sólo unos pocos valores de la tabla se puede calcular la pérdida de nivel para múltiples distancias . Multiplicar elementos de la columna izquierda equivale a sumar los de la derecha.
Ejemplo: ¿Qué pérdida de nivel tendremos a 60 m?
60 – 2 x 3 x 10 así pues, 6 dB + 10 dB + 20 dB – 36 dB.



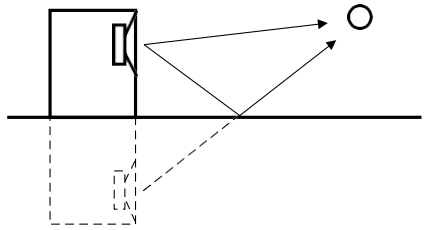
Dos subwoofers produciendo señales coherentes tienen el doble de eficiencia que uno solo



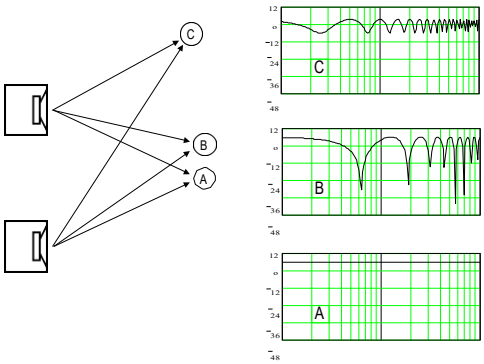
Array de subwoofers para una máxima directividad horizontal



Array de subwoofers para una máxima directividad vertical



Fuentes refleiadas extienden la columna virtualmente



Respuesta de frecuéncia de dos señales que interfieren con distintas longitudes de onda (efecto peine o ·comb filter·}

Suma de ondas acústicas

Dependiendo de la longitud de onda, la distancia entre fuentes sonoras y la situación del oyente, se pueden producir diferentes efectos.

Señales coherentes

Imaginemos que tenemos dos fuentes sonoras produciendo la misma señal con idéntica fase y amplitud. Si la distancia entre las dos fuentes y el tamaño de las mismas es considerablemente inferior que la longitud de onda (al menos 2 o 3 veces menor), conseguiremos un aumento de 6 dBs en todas direcciones (doble de presión) .Esta fórmula nos sirve si dos subwofers están colocados juntos de lado o uno encima del otro. Si la altura total del clúster es p.e 1,2 mts, la eficiencia del sistema se doblará por debajo de los 100 Hz (longitud de onda 3.4 m).
La suma de niveles se realiza acorde la tabla de dBs: tres fuentes iguales aumentarán la SPL en +10 dBs; cuatro fuentes en +12 dB etc.
Mayores arrays nos producirán también mayor directividad , pues sólo situándonos en ángulo recto respecto a la columna todos los altavoces producirán señales en fase. A medida que nos separamos de este eje, habrá más cancelaciones. Por ejemplo, una columna vertical tendrá una dispersión vertical más estrecha y una dispersión horizontal más amplia.
La frecuencia sobre la cual obtendremos una mayor directividad será:

F = 2S0 / distancia de la columna en metros

Cuando los sistemas están situados sobre superficies duras (suelo), la extensión vertical del array se dobla debido a las fuentes reflejadas.

Señales desfasadas

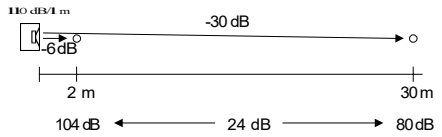
Si dos fuentes producen idéntica señal pero fuera de fase (180º), ambas señales se cancelarán en parte o - si las señales son exactamente el mismo nivel - totalmente..

El efecto peine (Comb filter effect }

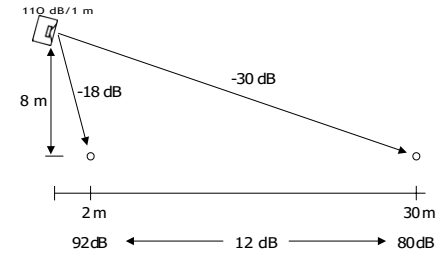
Si un punto es alcanzado por sonido proveniente de dos fuentes sonoras con la misma señal , pero desde distintas distancias, se producirá el llamado II efecto peine". La razón de este efecto es que cuando la longitud de onda de una frecuencia es un múltiplo de la diferencia de distancia, las señales de ambas fuentes están en fase (es decir 0º o 360º, 720º, etc.) y se suman automáticamente.. Las frecuencias que lleguen fuera de fase (p.e: 180º o 540º, 900º, etc.) se cancelarán. El grado de influencia del efecto peine depende de los niveles relativos de ambas señales en el punto que escucha. Las cancelaciones más serias ocurren levemente fuera del eje del centro entre dos altavoces donde ambas señales casi llegan con el mismo nivel pero con un desplazamiento de fase 180º.

Rel. potencia	dB
1	0
2	+ 3
3	+ 5
5	+ 7
10	+ 10
100	+ 20

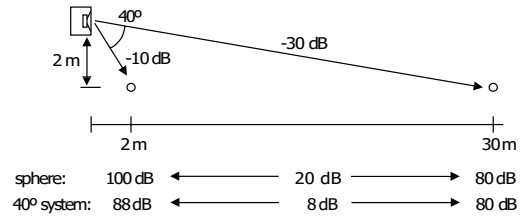
Nivel de ganancia en dBs al aumentar la potencia acústica con más fuentes o más potencia eléctrica.



Pérdida de nivel en relación a la distancia a lo largo de la zona de público



Meiora de la covertura con un sistema volado



Meiora de la covertura con un diseño de Directividad Constante (DC } vertical

Señales no coherentes

Las señales de distintas fuentes sin relación de fase se llaman no coherentes.. En este caso no hay una automática suma de la presión sonora, pero la potencia sonora de ambas fuentes se debe sumar (doblar potencia equivale a + 3 dBs de presión sonora).Esto es válido cuando un punto es alcanzado por muchas fuentes o por sus reflexiones. Otro caso de suma no coherente (como p.e, aumentar potencia) ocurre cuando diferentes señales sonoras coinciden en un punto (sonido de fondo, música, etc..) .

Distribución de nivel a lo largo de la zona de público

Los gráficos adjuntos muestran los factores que determinan la distribución de nivel a lo largo del eje de la sala desde la primera a la última fila.

Pérdida de nivel por distancia

Independientemente al altavoz a utilizar, su nivel disminuirá de acuerdo a la tabla de dBs. Como ejemplo utilizaremos una sala de 30 mts de fondo. Las primeras filas están a 2 mts del escenario.
En este caso, la diferencia de nivel entre la primera y la última fila es de 24 dB - inaceptable para un sistema de audio.

De todas formas, las diferencias se pueden reducir colgando los altavoces. A una altura de 8 mts sobre público, la diferencia resultante es sólo de 12 dB.

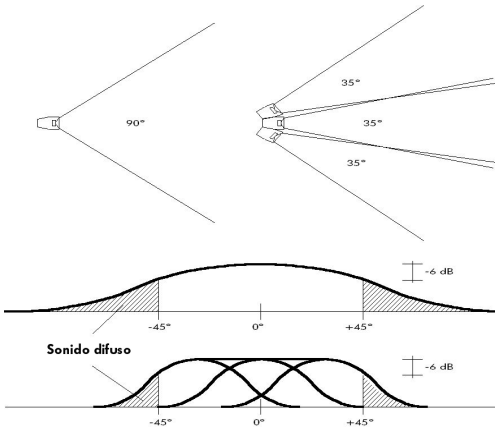
Directividad vertical

Tomando en cuenta la dispersión vertical del la caja a utilizar, la distribución de nivel puede mejorar significantemente. En el siguiente ejemplo la caja está sólo a 2 mts sobre el público (comparado a los 8 mts del caso anterior) y tiene una pérdida de nivel de -12 dB a partir de 40º fuera de eje. Este sería básicamente el comportamiento de una caja con una dispersión vertical de nominal de 40º (-6 dB a +/- 20º)

De todas formas, este diseño sólo sería válido si las características básicas de la respuesta de la caja no cambia desde su eje central hasta -40º, lo que significaría que la caja debe ser de diseño de directividad constante (DC)sobre una muy amplia gama de frecuencias.

Directividad horizontal

El ángulo de cobertura horizontal de las cajas nunca debe ser mayor al necesario para cubrir el área de público. El sonido radiado en otras direcciones aumenta la energía del sonido difuso lo que provocará una peor inteligibilidad.
Si una sola caja no permite suficiente cobertura, se pueden utilizar más cajas en array. Esta solución exige una buena directividad constante en cada caja para mantener las zonas solapadas lo más pequeñas posibles y evitar las zonas sin cobertura.
Si se requiere una cobertura horizontal de 90º, se puede conseguir con una sola caja de 90º (-6 dB a +/- 45º) o bien con tres cajas de 35º manteniendo un ángulo de 30º entre ellas. Esta última solución permite claramente una mayor presión sonora y una caída más rápida del nivel fuera de la zona a cubrir. Como inconveniente existirá efecto peine alrededor del eje central entre dos cajas del array. En estas zonas no puede haber una suma perfectamente coherente de las fuentes (este es el motivo por el cual el ángulo entre cajas es menor que el ángulo de dispersión nominal de una sola de las cajas) .
Cuanto mejor sea el diseño de Directividad Constante de la caja, menor el efecto peine.



Comparación de coverturas con una sola caia de 90º y de un array de 3Sº

Inteligibilidad

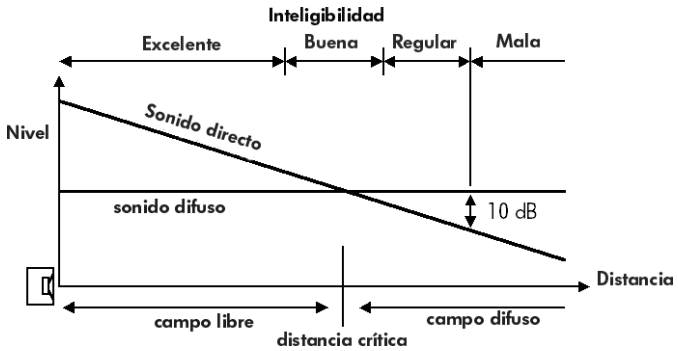
La inteligibilidad en un punto determinado de una sala está determinada básicamente por la relación entre el sonido directo y el sonido difuso; siendo este último el resultado de las reflexiones o reverberaciones de la sala

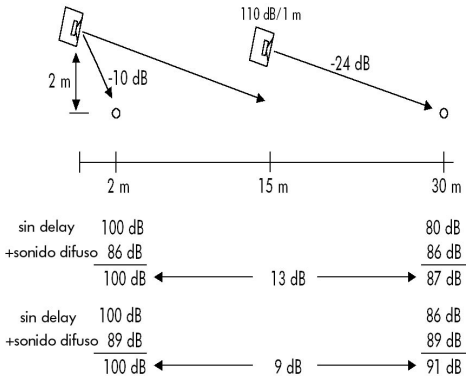
Mientras el sonido directo disminuye con la distancia, el sonido difuso es casi constante en toda la sala. Una inteligibilidad aceptable se consigue cuando el sonido directo no es menor que 10 dBs respecto al sonido difuso

Uso de sistemas de delay

Usando sistemas de delay, no sólo se puede mejor la distribución de nivel a lo largo de la zona de público, si no que también mejoraremos la relación entre el sonido directo y el difuso. Las cajas se pueden dirigirse directamente a la zona de público a cubrir y se mandará menos energía hacia el campo difuso por lo que se mejorará la inteligibilidad. Debido a que las cajas junto al escenario ya no deben lanzar hasta el fondo de la sala, todos los sistemas pueden funcionar a menor nivel.

Más allá de la distancia crítica (el punto dónde el nivel de sonido difuso - nivel de sonido directo) el sonido de la P.A. principal está muy influido por la acústica de la sala. Las cajas más cercanas al público(como los delays) deben sonar lo más parecido posible a ese sonido (así cómo tener ajustados los delays con precisión) si el sistema tiene que ser discreto y debe mantener la imagen respecto a la P.A. principal.





Niveles requeridos

Para sonorización de música 'alta' un promedio de 100 a 105 dB de nivel es normalmente suficiente. Los niveles de picos pueden ser de 12 dBs más.
Ejemplo: Un sistema estéreo en una sala debe conseguir un nivel de 100dB a una distancia de 20m.Cada sistema debe ser capaz de proveer 100 dB + 26 dB (pérdida a 20 m) + 12 dB (promedio de picos)- 3 dB (suma de las potencias L+R) - 135 dB SPL de pico (a 1m)
Para parlamentos los requerimientos suelen ser de aproximadamente 20 dB menos.

Especificaciones de dispersión

Diagrama polar

Un diagrama polar muestra el nivel sobre un ángulo de escucha en el plano horizontal o vertical sobre una frecuencia determinada. En el caso de cajas de ' directividad constante', los planos para las diferentes frecuencias (al menos en el área frontal de la caja) deben ser muy parecidas.

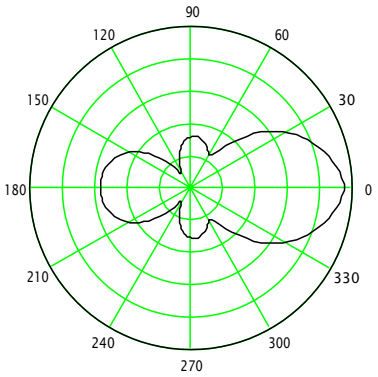


Diagrama Polar

Factor - Q

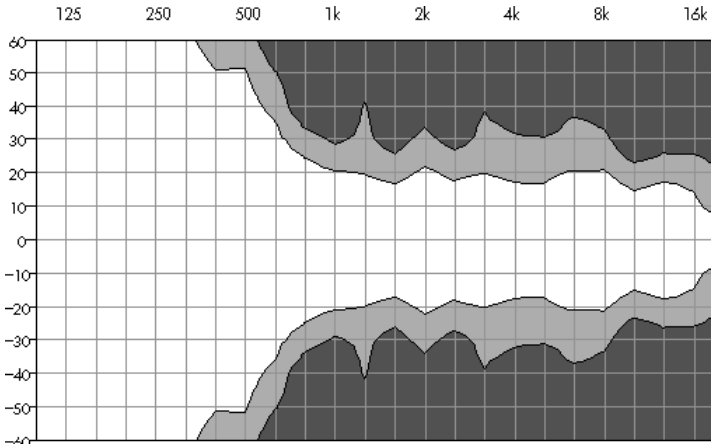
El factor Q describe la directividad de un elemento respecto a una frecuencia determinada, pero no distingue entre directividad horizontal o vertical.. Es la relación entre la potencia sonora radiada en el eje respecto al promedio de potencia sonora radiada en todas direcciones. Una alta Q significa gran directividad..

Ángulo de dispersión nominal

Es el ángulo horizontal o vertical dónde el nivel desciende -6 dB con relación al eje central, p.e. 60º x 40º en una C6. Puede también mostrarse por frecuencias (plano de dispersión x frecuencia o diagrama de isobaras)

Diagrama de isobaras

En el eje horizontal están las frecuéncias, en el vertical los grados respecto al eje central y las líneas isobaras representan -6 dB y -12 dB. Un comportamiento de Directividad Constante se puede observar por líneas isobaras paralelas. El ejemplo muestra la dispersión de una caja d&b C4-TOP (dispersión nominal 35º x 35º) .



Xavier Pardell
Experto en Tecnología Médica, Profesional Independiente